1-1-2023

DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN PIEDRA LABOR PARA "AUNAR ESFUERZOS ENTRE EL MUNICIPIO DE EL SOCORRO Y LA JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL DEL BARRIO EL BOSQUE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE EL SOCORRO SANTANDER."

CLAUDIA PORRAS
ALCALDESA

EL SOCORRO
LA CIUDAD DE LAS OPORTUNIDADES

FUERZA SOCORRO

SOCORRO - SANTANDER

MUNICIPIO DE SOCORRO-SANTANDER

DISEÑADOR: ING. JUAN LUIS BELTRAN B
ESP. VÍAS TERRESTRES
MP: 68202-266082 STD

SOCORRO – SANTANDER
2023

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. OBJETIVOS 4
2.1. OBJETIVO GENERAL 4
3. ALCANCE 5
4. DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA 6
4.1. MÉTODOS DE DISEÑO 6
4.2. CONDICIONES TECNICAS 7
5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 8
5.1. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DEL PROYECTO 9
6. INFORMACIÓN EXISTENTE 9
6.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO 9
6.2. CARACTERIZACIÓN DE SECTORES 10
6.3. RECONOCIMIENTO DE CAMPO 10
6.4. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DISEÑOS DEFINITIVOS 10
7. DISEÑO DEL PAVIMENTO 11
7.1. DISEÑO DE PAVIMENTO MEDOTO INVIAS 11
7.1.1. ESTUDIO DE TRANSITO 11
7.1.2. TRANSITO ACTUAL 11
7.1.3. TRANSITO FUTURO 12
7.1.4. TRANSITO DE DISEÑO 12
7.1.5. CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO 13
7.2. ESTRUCTURA PAVIMENTO 14
7.3. DISEÑO DE ESPESORES 15
7.4. ALTERNATIVA NUMERO 1 16
7.5. SIGUIENDO LA METODOLOGÍA AASHTO 1993. 17
7.6. ALTERNATIVA NUMERO 2 20
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 21

DISEÑO DE PAVIMENTO EN PIEDRA LABOR

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el análisis y diseño de la estructura del pavimento en piedra labor, en las condiciones climáticas imperantes en la zona, las condiciones de resistencia de los suelos dela subrasante, las solicitaciones de tránsito y las características de los materiales definidos para cada una de las capas.

considerando que este tipo de pavimento se fundamenta en que guarda el mismo criterio de una estructura de pavimento rígido, alterna la diferencia en que sus capas encuentran rigidizadas artificialmente con un aditivo o mejorando de la capacidad de soporte que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos;el ejemplo de estos componentes busca corregir o modificar las propiedadesmecánicas locales y de sitio que no logran ser lo suficientemente actas para la construcción de los espesores que conforman una estructura pavimento.

Pero en el caso de los pavimentos en piedra, por definición un empedrado indiferente de su condición y método constructivo es el recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de cantos rodados, piedra partida, o en losas de área mediana para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectúa sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos, no hay un método exacto que determine el diseño de un pavimento en piedra.

Se presentan los estudios y el dimensionamiento de la estructura para el pavimento con acabado en piedra labor, ubicado en el municipio de Socorro, departamento de Santander. El diseño del pavimento se realizó utilizando tanto el método de diseño de pavimentos desarrollado por INVIAS "Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medio y Altos Volúmenes de Tránsito aprobado por INVIAS en 2007" como el método de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 1993 usando el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), los que más empleados en Colombia.

El diseño de pavimento debe tener en cuenta factores como la calidad del suelo de apoyo de la estructura y posibles mejoras al mismo (estos componentes se determinarán en estudios de suelos realizados con anterioridad en las vías en estudio), el estudio de tránsito se realiza con la finalidad de conocer las condiciones actuales de operación y demanda de tráfico, para lo cual se hace necesaria la toma de información de campo mediante aforos vehiculares. Con estainformación se realizarán proyecciones de tránsito de acuerdo al método de diseño de pavimento rígido, se determinan las dimensiones y todos los componentes del pavimento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El propósito de este estudio es determinar los espesores de la estructura del pavimento para el proyecto cuyo objeto es AUNAR ESFUERZOS ENTRE EL MUNICIPIO DE EL SOCORRO Y LA JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL DEL BARRIO EL BOSQUE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE EL SOCORRO SANTANDER.

Objetivos específicos:

- Establecer las características geotécnicas del material encontrado a partir de las exploraciones de campo y resultados de ensayos de laboratorio.
- Diseño de estructuras de pavimento rígido con acabado en piedra labor.
- Selección de la estructura de pavimento apropiada de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto.
- Determinar los parámetros estructurales, con espesores de las piedras y calidad de los materiales del pavimento en piedra labor para construcción de las vías del casco urbano del municipio, teniendo en cuenta la composición del tráfico vehicular del sector.
- Establecer los procesos necesarios para la construcción de pavimento semi flexible en piedra labor, mediante la realización de ensayos de materiales obtenidos en campo y resultados del análisis de las componentes geométrica, caracterización y tránsito del sector.

volúmenes vehiculares excesivos que provocan un deterioro de forma acelerada.

Pese a que se considera al empedrado como un pavimento flexible, pues se acomoda de acuerdo a las deformaciones que presenta la subrasante, ninguno de los métodos de diseño de pavimentos flexibles se adapta o puede ser aplicado rigurosamente, ya que su comportamiento es distinto.

Las deformaciones plásticas o permanentes, que en cualquier pavimento flexible produciría grietas, en los empedrados producen ondulaciones, fenómeno que se mantiene inalterable mientras la ondulación permite un reacomodamiento de las piedras a los nuevos niveles que el tráfico va definiendo.

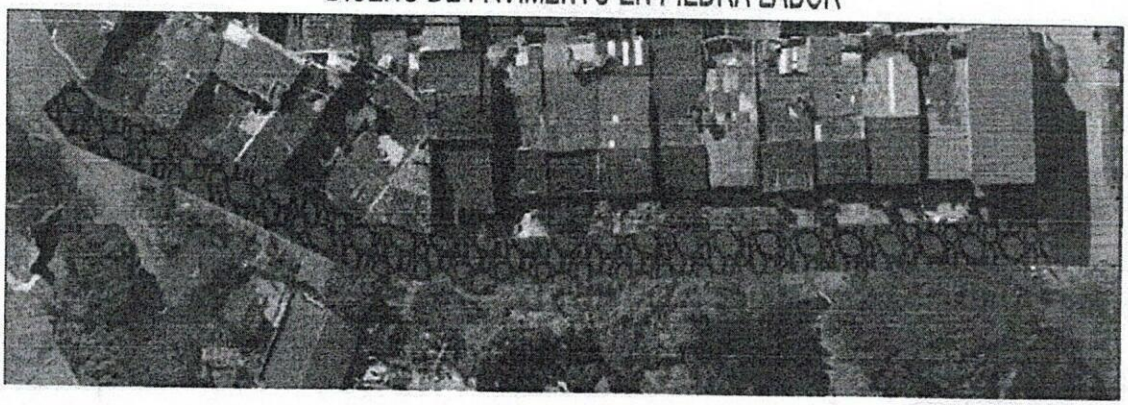
La experiencia en la zona Guanentina y Comunera de Santander, particularmente con pavimentos en piedra de labor o Piedra Barichara en Municipios como Barichara, San Gil, Curití, Páramo, Mogotes, Hato, Socorro, Simacota, Confines, Galán, Pinchote entre otros, con empedrados existentes, demuestra que las ondulaciones presentadas, no disminuyen sensiblemente el nivel de servicio original luego de 30 o 40 años de servicio del camino.

Existen varios factores que inciden en la duración del empedrado, estos factores principalmente son: la calidad de la subrasante o suelo de soporte del empedrado, la calidad de la piedra, la buena ejecución del empedrado, la calidad de la brecha, la eficiencia del drenaje superficial, la cantidad y distribución del tráfico, aspectos que son muy positivos teniendo en cuenta que, no se aplican planes adecuados de conservación y mantenimiento.

Debido a que los empedrados se los construye directamente sobre la subrasante o suelo natural, la selección de una adecuada subrasante es tan importante como la ejecución en sí del empedrado, ya que para la ejecución de este tipo de rodadura no se prevé la colocación de capas de mejoramiento o material granular. Los suelos que prestan mejores condiciones para la ejecución de empedrados son los limos, limos arcillosos o arcillas de baja compresibilidad, suelos comunes en la Región Andina.

Estos son suelos con baja sensibilidad, lo que garantiza la duración del empedrado en épocas invernales. Estos suelos deben poseer características adecuadas de soporte, medidas con indicadores de resistencia del suelo como el CBR (California Bearing Ratio).

La piedra es el material principal para la ejecución de estos trabajos, por lo que la identificación de minas, canteras o fuentes de materiales adecuadas a una distancia aceptable del centro de gravedad del proyecto garantiza el éxito del trabajo con un buen estándar económico.



5. INFORMACIÓN EXISTENTE

Para el desarrollo del presente proyecto se realizaron trabajos de campo que consistieron en exploraciones de tipo manual (apiques), éstos situados estratégicamente gracias a la inspección visual que dio lugar a la identificación de los sitios donde realizar tal actividad, se procedió a realizar un total de tres (3) apiques, uno sobre la calle 5 a intervenir, dependiendo de la estructura existente y los suelos hallados se determinan profundidades de exploración máxima de 1.50 m estableciendo los materiales que conforman el perfil estratigráfico de los suelos y estructura de pavimento en la zona.

6. CONDICIONES TECNICAS

El empedrado presenta como principales generalidades las siguientes condiciones:

Es un pavimento Semi flexible.

No es monolítico.

La fricción entre cada una de las piedras, ayuda a soportar la carga que transmiten las llantas a la rodadura donde existe la necesidad de rellenar las juntas.

No existe un método de diseño científico.

La experiencia de las comunidades es importante en la construcción.

De acuerdo con lo anterior, los pavimentos presentan niveles de servicio prácticamente permanentes para toda su vida útil, por lo que el mantenimiento que se le provee garantizará que los alineamientos longitudinales y transversales se mantengan. El deterioro de los caminos empedrados se debe a inadecuadas o inexistentes políticas de mantenimiento vial, ya que, confiando en las bondades de los empedrados, se exponen a estos caminos a vehículos sobrecargados o a

Imagen 1. Localización general del proyecto

El municipio de Socorro se encuentra en el sector central oriental del departamento de Santander, sobre la vía que de Bucaramanga conduce a Santa Fe de Bogotá. Dista de San Gil, capital de la provincia de Guanentá, 22 km y de la ciudad de Bucaramanga, 121 km. Posee una extensión de 122 km2, con una topografía bastante montañosa, y el 2% pertenece al perímetro urbano.

Sus límites territoriales son: al norte, con los Municipios de Cabrera y Pinchote; al sur, con Confines y Palmas del Socorro; al oriente, con Páramo; al occidente, con Simacota y Palmar.

Cuenta con un área total de 12.210 Ha y se encuentra ubicado entre los pisos térmicos cálido húmedo y templado húmedo, cuya temperatura oscila entre los 18 y los 24 °C, a una altura entre 600 y 1.800 msnm; su casco urbano se encuentra a una altura de 1.230 msnm.

4.1. Localización Específica Del Proyecto

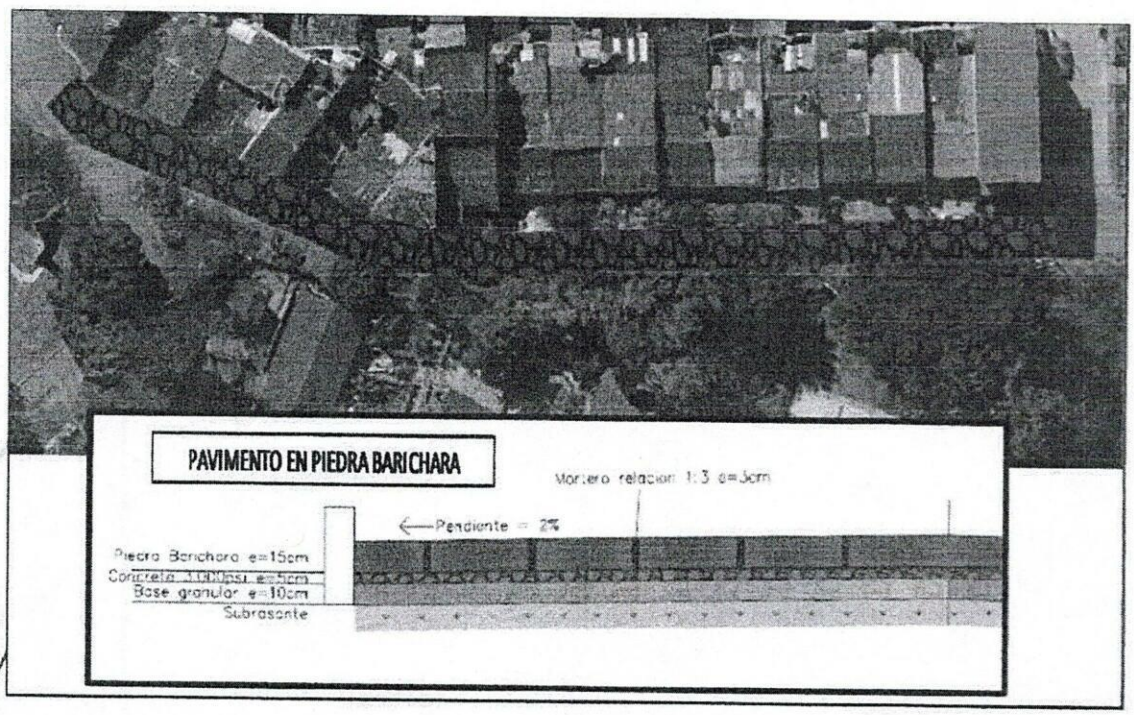
El proyecto se encuentra ubicada en el casco urbano del municipio de Socorro, Santander sobre las siguientes direcciones: Calle 5, Barrio el Bosque

3. ALCANCE

Con base en el conocimiento de los aspectos geotécnicos (capacidad de la subrasante) y de solicitación (magnitud del tránsito) se presentará el diseño de espesores de pavimento para el proyecto en referencia, lo anterior se realizará teniendo en cuenta las Especificaciones Técnicas para el desarrollo en obra de este tipo de trabajos, teniendo en cuenta los resultados en campo y laboratorio realizados para los suelos de la zona y los conteos de tránsito y su correspondiente análisis; con base en lo anterior se determinaran, de ser el caso, sectores homogéneos y los parámetros mínimos para este tipo de diseño los cuales son capacidad de soporte (CBR) y repeticiones de carga vehicular, ya sea en número de ejes simples equivalentes o repeticiones de carga y tipo de eje, en el periodo de diseño de 15 años.

Por consiguiente, se diseñarán como mínimo dos alternativas de estructuras de pavimento, considerando estructuras de pavimento rígido, y la utilización de materiales granulares y/o estabilizados, teniendo en cuenta que las alternativas tengan diferentes tipos de estructuras y considerando que sean técnicamente viables de construir.

4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



7. DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA

Aunque no existe un método de diseño establecido para calcular una estructura de pavimento en piedra labrada o piedra Barichara, los diseños a través del tiempo se han basado en aspectos sociales, donde la experiencia de la comunidad hajugado un papel muy importante, de ahí que dicha experiencia haya aportado a través de los años una tradición, la cual hoy en día puede ser mejorada mediante la consideración y análisis de la variables que intervienen en el proceso de la pavimentación con piedra labrada.

A continuación, se presenta una descripción general del proceso metodológico por implementar para el desarrollo de los trabajos de diseño.

Inspección preliminar, visita a campo: mediante la inspección en campo observar las vías objeto del presente documento y de esta manera determinar el tipo de intervención que se requiere.

Exploración geotécnica de la zona en estudio: determinar las características geotécnicas mediante perforaciones manuales o de tipo mecánico, para el caso apiques, ya que estos suministrarán información por medio de las muestras obtenidas para cuando el suelo cambie.

Caracterización geotécnica de la subrasante: las muestras halladas fueron recuperadas para realizar ensayos de laboratorio que consisten en: granulometría (% de material que pasa definición finos o gruesos - caracterización), límites de Atterberg (consistencia material), humedad natural, determinación de CBR% (capacidad soporte del suelo).

Tránsito de diseño: Para este punto se tendrá en cuenta la información suministrada por el área correspondiente y se tomarán los datos para la determinación de los estudios de pavimento.

Alternativas de diseño: presentar cada una de las soluciones ya sea el caso en pavimento Rígido (Pavimento Nuevo), dependientes de la capacidad de soporte de la subrasante, el tránsito de diseño y la sectorización en función de evaluación estructural y funcional); lo anterior con el fin de considerar alternativas que brinden economía al proyecto, pero de la misma manera optimización, confort y seguridad a la hora de transitar en la zona.

7.1. Métodos de Diseño

Para el desarrollo de los trabajos por presentar se utilizarán los siguientes métodos, éstos se listan a continuación y se realiza una breve descripción de los aspectos técnicos que se tendrán en cuenta para la implementación de los mismos, se hace claridad que en los capítulos que corresponden a cada uno delos métodos por desarrollar se ampliará la información de premisas y variables para la definición de espesores.

De preferencia:

GW, SW, SM, ML incluyendo el SC (siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad).

Si se tienen materiales del tipo CL, MH, CH, CL-ML y su LL este en un rango de 50 y 100%, se tiene que realizar un analisis para reudcir los valores del LL y en consecuencia el IP.

Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH, CH y OH con LL=100%, estos serán rechazados, y para ello se recomienda una sustitución del material con material limoso mezclado con arena y/o grava en espesor mínimo de 30cm.
Y si al realizar el corte se encuentre fragmentos de roca, estos no serán admitidos como lecho de apoyo y de ser asi entonces se debera proceder a la remocion de estos fragmentos endurecidos.

7.4. Características de resistencia de la piedra tipo Barichara

La Piedra a emplear en las labores de pavimentación producto del presente estudio, es decir la Piedra de labor o Piedra Barichara debe reunir al menos las siguientes condiciones:

- Resistente a los agentes atmosféricos: Por lo tanto, debe ser adecuada para exteriores, pero se recomienda un espesor de placa > 150 mm.
- Resistente a cargas medias si el solado es de losas o baldosas y a cargas pesadas si es de adoquín.
- Resistencia al deslizamiento, depende esencialmente del acabado, para el caso la losa o Piedra Barichara para vías se entrega desde las canteras con acabado puntereado o grafilado, éste último presenta mayores costos porque este tipo de acabado es mucho menos burdo, mejor acabado y superficie más uniforme.
- Resistente al agua. Es apropiado para vías puesto que, debido a su acabado y a la topografía de la zona, esta losa de piedra evacúa muy bien las aguas lluvias, soporta muy bien con los años cualquier efecto de la misma por intensidad y fuerza de la precipitación, las aguas de escorrentía superficial generadas por diversas causas diferentes a la lluvia tampoco son un problema, de acuerdo con esto la evacuación y resistencia del agua no le impide a la piedra Barichara ser lo suficientemente eficiente.

La Piedra Barichara es muy resistente a los siguientes agentes químicos:

- Aceites derivados de Hidrocarburos
- Grasas animales y vegetales

- Ácidos orgánicos e inorgánicos diluidos
- Álcalis diluidos
- Combustibles, Disolventes y Acetona.
- Sales.

8. DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA

a. ***Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medio y Altos Volúmenes de Tránsito INVIAS.*** Esta metodología considera las siguientes variables:

- Tránsito
- Capacidad Portante de la Subrasante;
- Resistencia a la Flexo tracción del Concreto Hidráulico.

b. ***Método análisis AASHTO:*** Se utilizará el valor del CBR y del Número de Ejes Simples Equivalentes; con base en lo anterior y mediante el uso del documento de AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT.

STRUCTURES 1993 se establecen las siguientes variables.

- Zr: Desviación Normal Estándar.
- So: Error Estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.
- D: Espesor de la losa de Pavimento (mm)
- PSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
- Pt: Índice de servicio Final.
- MR: Resistencia media del Concreto a la Flexo tracción a los 28 días – Módulo de Rotura.
- Cd: Coeficiente de Drenaje.
- J: Coeficiente de Transmisión de cargas en las Juntas.
- Ec: Modulo de elasticidad del Concreto.

8.1. Análisis de Laboratorio

Se tomaron muestras para cada tipo de suelo encontrado, se realizaron ensayos de Limites de Consistencia y Gradación, Humedad Natural, Peso Seco Unitario, Clasificación, Ensayo de Proctor Modificado y Ensayo de CBR.

- Recopilación y análisis de la información existente
- Reconocimiento de campo: se efectuó un recorrido a lo largo de la vía, detallando la mayor cantidad posible de parámetros que puedan afectar las obras del proyecto.
- Ensayos de laboratorio a las muestras extraídas.
- Análisis e interpretación de la información recolectada
- Elaboración de las recomendaciones correspondientes

Las siguientes tablas muestran los resultados de los estudios de suelos realizados a tramos donde interfieren las vías a rehabilitar con apiques de 0,00 metros hasta 1,5 metro de profundidad.

Tabla 2. Resumen de CRB obtenidos en los tramos a pavimentar

Apique	*CBR*	*Longitud*
Apique # 1	16,68	255 ml
Apique # 2	17,75	
Apique # 3	14,76	

8.2. CARACTERIZACIÓN DE SECTORES

La subrasante consiste de un suelo con una secuencia de limo, arenas y de consistencia medio firme a firme, con gravas. El porcentaje de CBR promedio para todas las calles del presente proyecto varía entre 14 y 17.

8.3. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

En esta fase, se realizaron inspecciones y reconocimientos de campo sobre la zona del proyecto, identificando las unidades estratigráficas, la textura de los suelos presentes, la morfología y la posible influencia estructural en elcomportamiento de los mismos elementos.

8.4. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DISEÑOS DEFINITIVOS

Con base en la zonificación geotécnica y la información del tránsito que seproyecte, se diseñarán las estructuras del pavimento con la metodología de diseño para pavimentos rígidos del INVIAS.

8.5. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.

La piedra natural ofrece grandes posibilidades expresivas debido a la variedad de colorido y textura que ofrecen los distintos tipos, y a la versatilidad de su aspecto según la ubicación de la cantera de acuerdo con su coloración y meteorización. A la hora de diseñar un pavimento con piedra de labor tipo Barichara son cuatro los parámetros que se deben manejar:

DESPIECE O RELACIÓN MODULAR DE LA LOSA O BASE GEOMÉTRICA:

Con esto el Tamaño y la forma (cuadrado, rectángulo, triángulo, trapecio) las cuales son las formas más comunes de acuerdo a la laminación de la losa desde su extracción en la roca madre.

ACABADO SUPERFICIAL.

El acabado lo definen las condiciones establecidas por el solicitante o responsable del proyecto, también depende de la condición generada por la arquitectura requerida por la obra en particular, estos acabados pueden ser Pulido, abujardado, grafilado, o simplemente losa puntereada.

COLOR

La coloración depende de los contenidos ferrosos inmersos en la arenisca desde el momento de su formación en los depósitos sedimentarios, al igual que el grado de meteorización sufrido por la roca madre o roca parental y su edad respectivamente.

DIBUJO

Generalmente la piedra posee intercalaciones de color generadas por los contenidos de minerales presentes en ella desde su formación, vetas rojizas, marrones, carmelitas y blanquecinas hacen parte de un sin número de Combinación de distintos colores y despieces que pueden llevar a crear motivos decorativos.

9. DISEÑO DEL PAVIMENTO

9.1. DISEÑO DE PAVIMENTO MEDOTO INVIAS

Para efectos de determinar el espesor y composición de la estructura a construir, se empleará la metodología señalada por INVIAS en su recientemente publicado y adoptado Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medio y Altos Volúmenes de Tránsito. Esta metodología considera las siguientes variables: a) Tránsito; b) Capacidad Portante de la Subrasante; c) Resistencia a la Flexo tracción del Concreto Hidráulico.

9.1.1. ESTUDIO DE TRANSITO

El transito es una variable básica para el diseño de una vía, ya que tanto las características geométricas como la estructura del afirmado dependen del volumen del mismo y su composición.

El estado de tránsito consiste en la evaluación detallada del volumen actual de tránsito su composición y una cuantificación de las variables futuras del mismo, de tal forma que se garantice el funcionamiento de la vía durante toda su vida útil.

9.1.2. TRANSITO ACTUAL

Como se mencionó anteriormente la determinación del tránsito es la variablebásica para el diseño de una vía, una cuantificación precisa y efectiva proporcionan un diseño veraz, el diseño se hace con el TPDs (transito promedio diario semanal), la composición de este y la tasa de crecimiento anua.

Para determinar el transito promedio diario actual TPDs, se realizó los aforos, teniendo en cuenta que los sitios de estudio son paso obligatorio de todos los vehículos que transitan a diario.

En estos aforos se registra la hora de paso y el tipo de vehículo (automóvil, campero, camioneta, bus, volqueta y camión)

Con el fin de realizar un diseño adecuado para las vías a intervenir, en el municipio de Socorro-Santander se llevó a cabo un estudio de tránsito durante el mes de enero de 2023, el cual se relaciona a continuación

Para determinar el transito promedio diario (TPD), se determinó ubicar un punto de aforo vehicular en la congruencia de la calle 5, desde allí se realizóel aforo del tránsito durante 8 horas, durante el periodo de mayor tránsito, en los días más comerciales.

A continuación, se relaciona los datos obtenidos:

FECHA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TPDS
AUTOS	560	614	545	741	626	701	814	657
BUSES	12	13	15	10	12	14	16	13
C2P	14	13	13	14	12	5	8	11
C2G	4	6	4	2	2	0	0	3
T3-S2	2	1	0	1	2	0	0	1
T3-S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TD	592	647	577	768	654	720	838	685
%AUTOS	95%	95%	94%	96%	96%	97%	97%	95,9%
%BUSES	2%	2%	3%	1%	2%	2%	2%	1,9%
%C2P	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1,6%
%C2G	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0,4%
%T3-S2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,1%
%T3-S3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

- Transito promedio diario semanal: 685 veh/día
- Se obtuvo un TPDs de 685 veh/día, con una composición vehicular de: 95,9% deAutomóviles, 1,9% Buses y 1,6% Camiones y Tractocamiones de 0,4%

9.1.3. TRANSITO FUTURO

Para este proyecto se asignó una tasa de crecimiento anual del 9%, teniendo en cuenta que el crecimiento normal del tránsito se debe al aumento del número de vehículos automotores generalmente asociados al incremento de la población. Estimando un año para finalizar la obra se obtiene:

$$TPD = 685(1 + 0.09) \cong 747$$

9.1.4. TRANSITO DE DISEÑO

Para un periodo de diseño de 15 años el tránsito de diseño es el siguiente:

$$TPD = 685 * (1 + 0.09)^{15} \cong 2495$$

Para lo cual se estima que la cantidad de NESE de 8.2 Ton se encuentra en el rango de 5´000.000 a 9´000.000 millones de ejes equivalentes, tal y como se muestra en la ilustración anterior., de acuerdo con lo señalado en la **Tabla 3-6. Variables.**

consideradas en los análisis de diseño del pavimento, cuya fuente se indica en la misma.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T_o	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

Los valores de CBR determinan la clase o tipo de subrasante, clasificada con base en lo consignado en la Tabla 7, correspondiente a la tabla 3-2 del Manual de Diseño de Pavimento de Concreto del INVIAS.

De acuerdo a lo anterior, la subrasante del tramo en estudio se clasifica como Tipo S5 debido a que los valores del CBR de los estudios realizados a las diferentes vías se encuentran en un mismo rango (14%<CBR<17%). Esto teniendo en cuenta los estudios y clasificación de suelos llevada a cabo para la construcción de las estructuras presentes en el proyecto.

Tabla 7. Clasificación de la Subrasante de acuerdo a su resistencia

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 3-2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

9.1.5. CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

La calidad del concreto hidráulico, en términos de su resistencia al flexo tracción, junto con las otras variables atrás mencionadas, determina el espesor que deben tener las losas del pavimento para su buen desempeño.

De acuerdo con sus resistencias, en la Tabla 8, correspondiente a la tabla 3-4 del Manual de Diseño de Pavimento de Concreto del INVIAS, se tienen las siguientes clases de concretos para pavimentación:

Tabla 8. Clasificación de la resistencia al flexo tracción del concreto

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 3-4. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

9.2. ESTRUCTURA PAVIMENTO

Obtenidos los valores de las cargas actuantes sobre el pavimento, tipo T3 y la capacidad portante de la subrasante, tipo S4, se puede proceder a dimensionar la estructura buscada por estos diseños. Para ello, se emplearán el Manual deDiseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, adoptado por INVIAS.

Las losas se pueden desplantar directamente sobre la subrasante natural, o sobre una capa de base estabilizada con cemento (BEC) o sobre una capa de base granular triturada, compactada al 95% de su máxima densidad; el espesor de las losas también dependerá del tipo de lecho sobre el cual se desplantarán las mismas.

En la Tabla, correspondiente a la tabla 3-3 del manual citado, se indican los diferentes tratamientos sobre los cuales debe desplantarse las losas de concreto.

Tabla 9. Clasificación de los tipos de base de soporte del pavimento.

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Tabla 3-3. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

Por lo anterior, para este diseño las losas se vaciarán sobre una capa de BG de 10.0 cm de espesor, o bien sobre una la subrasante natural compactada con un equipo que garantice la estabilidad y se realice una buena compactación.

Los espesores de losa también son determinados con base en el tipo de juntas que se dispondrán en el pavimento (con pasadores, barras de transferencia o dovelas o sin ellas), de si este dispone de bermas adyacentes al mismo, etc., tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación del tipo de confinamiento lateral y de transmisión de cargas entre losas.

Denominación	Descripción
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Tabla 3-5. Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

Se construyen bermas de concreto, entiéndase por bermas, sardineles prefabricados que den un confinamiento a toda la zona de aparcamiento. Es decir, se tiene una condición de D y B.

9.3. DISEÑO DE ESPESORES

Para la determinación del espesor se tienen ya definidos los siguientes parámetros:

- Clase de Tránsito, N: T3
- Clase de Subrasante: S4
- Confinamiento y Transferencia: D Y B
- Tipo de Base: BG Clase A.

Con los anteriores parámetros, se utiliza la carta de diseño que los considera. Esta carta es la que se presenta en la

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

		Tránsito T3																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	29	34	31		28	32	30		26	30	27	30	25	29	26	29	24	28	26	28
	MR2	28	32	31		27	31	30		25	29	27	29	24	28	26	28	24	27	26	27
	MR3	27	31	31		26	30	30		24	28	27	28	23	27	26	28	23	26	26	27
	MR4	26	30	31		25	29	30		23	26	27	28	22	25	26	28	22	25	26	27
BG	MR1	27	32	29		27	31	28		25	29	26	29	24	28	26	27	24	28	25	28
	MR2	26	31	29		26	30	28		24	28	26	28	24	27	26	27	23	27	25	27
	MR3	26	30	29		25	29	28		23	27	26	28	23	26	26	27	22	26	25	27
	MR4	24	28	29		24	27	28		22	26	26	28	22	25	26	27	21	25	25	27
BEC	MR1	24	28	25	28	24	27	25	27	22	26	24	26	22	25	24	26	21	24	23	25
	MR2	23	27	25	27	23	26	25	26	21	24	24	26	21	24	24	25	21	23	23	25
	MR3	22	26	25	27	22	25	25	26	21	24	24	26	20	23	24	25	20	23	23	25
	MR4	21	24	25	27	21	24	25	26	20	22	24	26	20	22	24	25	19	22	23	25

Tabla 11. Carta de diseño de espesor de losa para las condiciones del proyecto

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para vías con bajos,medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

Se obtienen las siguientes posibles estructuras:

- Alternativa 1: Losas de Concreto MR38 de 5 cm de espesor colocadas sobre 10 cm de BG

No se consideran concretos del tipo MR3 y MR4 por ser concretos demasiado rígidos.

Para las condiciones encontradas en este proyecto, se recomienda adoptar la estructura compuesta por Alternativa 1 (5 cm de espesor de concreto MR38, vaciado sobre 10 cm de Base Granular clase A, compactada al 100% del PM), según las especificaciones de construcción del INVIAS, actualizadas al año 2013.

9.4. ALTERNATIVA NUMERO 1

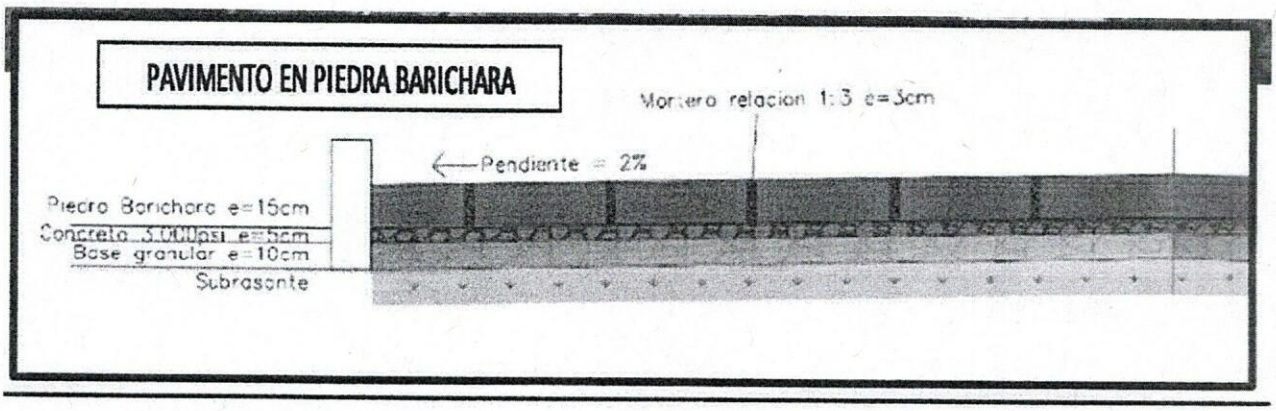


Ilustración 1: estructura de pavimento

9.5. SIGUIENDO LA METODOLOGÍA AASHTO 1993.

A continuación, se presenta la verificación del dimensionamiento obtenido por el método de la AASHTO 1993, fundamentado en la fórmula que relaciona el número de ejes equivalentes de 8.2 t, con el espesor de la losa de concreto, así:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 7.35 * \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624x10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32p_t) * \log_{10}\left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75}-1.1132)}{215.63 * J\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{Kd}\right)^{0.25}}\right)}\right]$$

Dónde:

W18: número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t a lo largo del Periodo de diseño.

W18 = 5´486.230

Zr: Desviación normal estándar. (Para un nivel de confiabilidad del 90%)

Zr = -1.282

So: Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperados en el pavimento. Para pavimentos rígidos valores que oscilan entre 0.30 y 0.40; no obstante para construcción nueva se utiliza 0.35 y para sobre capas 0.40.

So = 0.35

D: Espesor del pavimento en pulgadas. Para este caso el factor que se requiere hallar de la ecuación.

- **D = ? in**

ΔPSI: diferencia entre los índices de servicialidad inicial y final.

Servicialidad inicial Po = 4

Servicialidad final Pt = 2

ΔPSI = 2.0

Sc: módulo de rotura del concreto en psi.

Utilizando para este caso un concreto MR2.

Sc = 40 kg/cm2 = 569 psi

Cd: Coeficiente de drenaje.

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Para un porcentaje de tiempo superior al 25% que la estructura estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y una calidad de drenaje buena. Tenemos.

Cd = 1.0

J: Coeficiente de transmisión de carga de juntas.

Tipo de berma	Características	Transferencia de carga "J"
Bermas en concreto	Con dovelas	2.5 - 3.1
	Sin dovelas	3.6 - 4.2

J= 3.6

Ec: Módulo de elasticidad del concreto en psi.
El módulo de elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su módulo de rotura.nLa resistencia a la compresión del concreto escogido para el diseño es de F´c= 210 kg/cm2 = 3000psi.

$$Ec = 57000\ (F'c)^{0.5} = 57000\ (3000)^{0.5} = 3.122.019\ psi$$

Dónde:
F´c = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días en psi.
Mr = Modulo de rotura del concreto en psi.

Kd = Modulo de reacción de soporte (lb/in^3 o pci)
El módulo de reacción de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto o Modulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del módulo de resilencia de la subrasante y subbase, así como del módulo de elasticidad de la subbase.

En primera instancia se halla por correlación del CBR de la subrasante, el módulo de reacción K de la misma.

CBR (%)	K (kg/cm^3)
≤ 10	0.25 + 5.15 log CBR
> 10	4.51 + 0.89 $(\log CBR)^{4.34}$

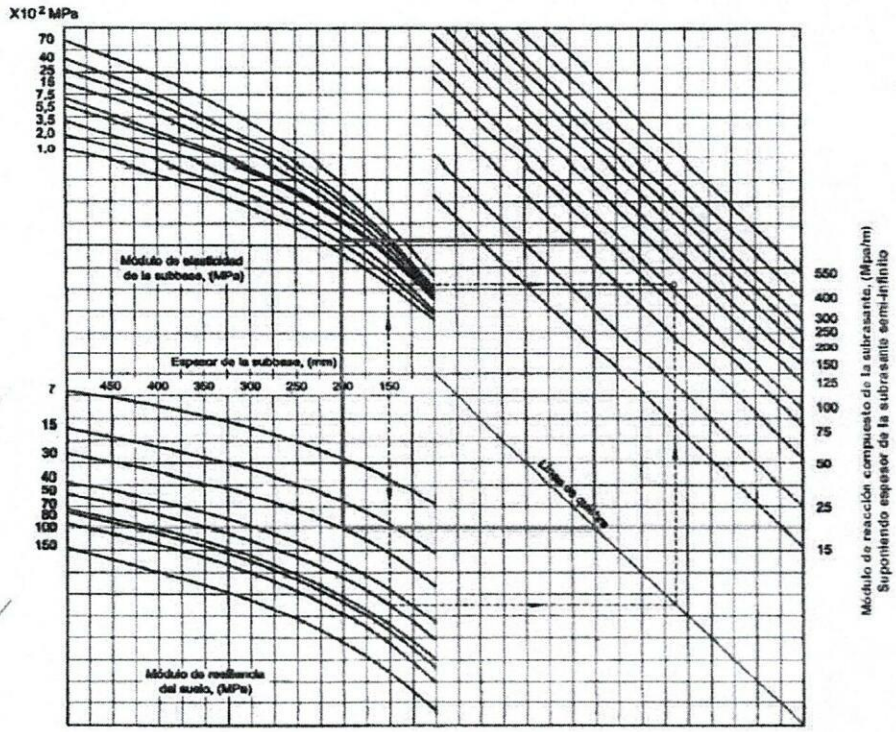
Promedio =16.59%

K = 4.51 + 0.89 log (CBR%)^4.34

K = 4.51 + 0.89 log(16.59%)^4.34

K = 6.60 kg/cm3

Ahora bien; suponiendo una base granular de 15cm con un módulo de elasticidad normal de 200MPa, entramos en el nomograma con el módulo de residencia de la subrasante (Mr=10*CBR=16.59*4%=64MPa) que se presenta a continuación, para hallar el módulo de reacción de soporte final Kd.



Kd = 45 Mpa/m

Retomando la ecuación:

Kd = 162.8pci

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El concreto instalado como base o cama, aporta una mejora sustancial a la capacidad de soporte de la estructura, al aumentar la resistencia en capas da la posibilidad que las cargas impuestas por el tránsito ante solicitaciones de carga resistan los esfuerzos a que la estructura va a ser sometida, por lo tanto, una adecuada base de concreto le amplía el espectro de la resistencia de las capas de soporte y a la estructura de pavimento en piedra labrada.

Así mismo una parte del concreto logra fijar y confinar adecuadamente parte de la junta entre baldosa y baldosa trabajando de manera monolítica y mejorando el conjunto de soporte, formando una brecha resultante hasta un h/2 de la altura de la baldosa o piedra que puede estar en promedio de 18 cm.

La reducción de la capa granular se hace en compensación del aumento de la capacidad portante que aumenta con inclusión de la capa de concreto, debido a que la capacidad portante aumenta a nivel de base de piedra labrada, se considera viable y factible disminuir el espesor de la capa granular, pero ésta ha de tener un tamaña máximo nominal en el agregado grueso de Ø=2", ésta condición le permite mediante una excelente gradación aumentar sobre el 100% el porcentaje de compactación con respecto al Proctor del material de subbase.

Se recomienda que el material de Subbase sea agregado de río y que cumpla con los estándares de materiales granulares de las Especificaciones Técnicas de Construcción de Carreteras del INVIAS, así como con las normas de Ensayo para Materiales del INVIAS.

La brecha se encarga de confinar el h/2 restante de la altura o espesor de la losa o baldosa, confina finalmente las juntas y baldosas y se encarga de sellar toda posibilidad de ingreso de agua al interior del pavimento, mejora el acabado superficial y permite una unión lisa entre las baldosas mejorando el aporte funcional al pavimento.

Para controlar los cambios volumétricos del suelo que puedan generar posibles daños a las estructuras se recomienda controlar y evitar zonas de infiltración de aguas superficiales hacia el suelo de cimentación.

El montaje del pavimento requiere de una supervisión técnica constante para que se garantice la ejecución adecuada durante todo el proceso constructivo, garantizando el nivel de cimentación, dimensiones y demás parámetros de diseño.

La alternativa seleccionada de la estructura de pavimento está conformada de 18cm de espesor piedra Barichara, 5 cm de concreto MR38, deberá estar apoyado sobre una capa de 10 cm de base granular compactada.

>95% del Proctor, que cumpla con las normar técnicas colombianas, si se presentan tramos saturados es indispensable separar la subrasante de la base granular

Resumiendo, los valores de todas las variables.

W18 = 166952
Zr = -1.282
So = 0.35
ΔPSI = 2.0
Pt = 2
Sc = 569 psi
Cd = 1
J = 3.6
Ec = 3.122.019 psi
Kd = 162.8 pci
D =? in

Con los anteriores valores, se iguala la ecuación y mediante la función buscar objetivo de Excel se halla el espesor de la losa.

Realizando el procedimiento descrito anteriormente se obtiene una losa de Fc=210kg/cm2, de un espesor D = 9 in = 23 cm, aplicado sobre una base granular de 10 cm de espesor.

mediante geotextil después de controlar el nivel freático mediante drenes.

Toda el área de pavimento deberá estar confinada con bordillos que cubran el total de la estructura de pavimento.

La calidad de los bloques de roca para obra de empedrado de vías de tráfico vehicular deberá cumplir por lo menos las siguientes características:

Tener un espesor mínimo de 18 cm, deberá ser cortado rectangularmente o en secciones cuyo diámetro mayo no sea superior a 70 cm y con un diámetro menor a 20 cm.

Deberá guardar proporcionalidad unas con otras, se colocarán sobre superficie de concreto y guardaran una luz entre ellas no mayor a 3 cm denominado brecha, esta se llenará con mortero de pega 1:3 de 210 Kg/Cm2.

Las recomendaciones contenidas en el presente informe se basan en los datos obtenidos del plan de exploratorio realizado por el municipio, y en la información suministrada del proyecto, contemplando dos alternativas. Si durante la construcción se presentan situaciones o condiciones no previstas en este informe se deberá dar aviso oportuno al diseñador para estudiar la solución más adecuada.

La piedra tipo Barichara o piedra de labor según análisis, soporta el peso de un vehículo con ejes equivalentes a 8.2 toneladas, el área del proyecto tiene como fin el mejoramiento y recuperación de un camino peatonal de esta manera se realiza la comparación con respecto al peso de personas y se concluye que este tipo de material cumpliría como pavimento semi flexible.

La construcción de pavimento semi flexible en piedra labor, requiere que su asentamiento sea en una subrasante compacta libre de escombros, materia vegetal u otros elementos que puedan afectar el funcionamiento y la estabilidad del pavimento. Complementado con la correcta ejecución de los procesos constructivos, supervisados por la interventoría del proyecto. Por lo tanto, el contratista debe proceder apoyado por la supervisión técnica de obra que garantiza el correcto cumplimiento de los procesos de acuerdo al diseño y la calidad de los materiales.

La capa de rodadura en piedra tipo Barichara debe tener tañadas franjas de adherencia las cuales son muy importantes para la seguridad de los vehículos y sus ocupantes, teniendo en cuenta que cuando llueve esta piedra tienden hacer resbalosas y este factor influye negativamente en el frenado.

ING. JUAN LUIS BELTRAN BELTRAN
T.P 68202266082 STD